

4

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-279618

(43)Date of publication of application : 27.09.2002

(51)Int.Cl.

G11B 5/66  
G11B 5/738  
H01F 10/16  
H01F 10/30

(21)Application number : 2001-077414

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 19.03.2001

(72)Inventor : IGARASHI KAZUSUKATSU  
AKAGI FUMIKO  
ZAITSU HIDEKI  
TOMIYAMA HIROSHI

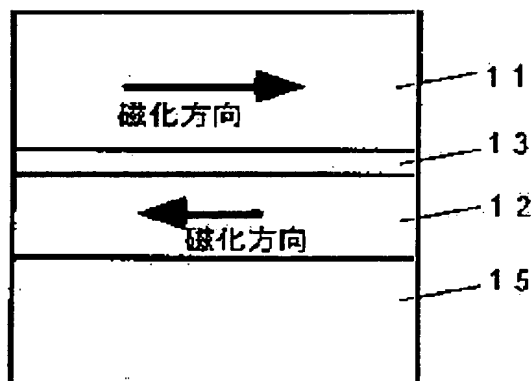
## (54) MAGNETIC RECORDING MEDIUM

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic recording medium suitable for the high density magnetic recording operation having the high resolution, low noise and small thermal fluctuation.

SOLUTION: This thin film type magnetic recording medium is provided with magnetic layers having at least two layers formed on a non-magnetic substrate, and a non-magnetic intermediate layer held between these magnetic layers to make the magnetization of them to be unparallel, and such magnetic recording medium is used that the ratio  $H_{kB}/H_{kA}$  of the magnetic anisotropic magnetic field  $H_{kB}$  of the magnetic layer at the side near the substrate to the magnetic layer anisotropic magnetic field  $H_{kA}$  of the magnetic layer at the side far from the substrate is  $\leq 0.7$ , more preferably  $\geq 0.4$  and  $\leq 0.65$ .

図 3



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

14.10.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-279618

(P2002-279618A)

(43) 公開日 平成14年9月27日 (2002.9.27)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト* (参考)
G 1 1 B	5/66	G 1 1 B	5 D 0 0 6
	5/738		5 E 0 4 9
H 0 1 F	10/16	H 0 1 F	
	10/30		

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2001-77414(P2001-77414)

(22) 出願日 平成13年3月19日 (2001.3.19)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 五十嵐 万寿和

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 赤城 文子

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

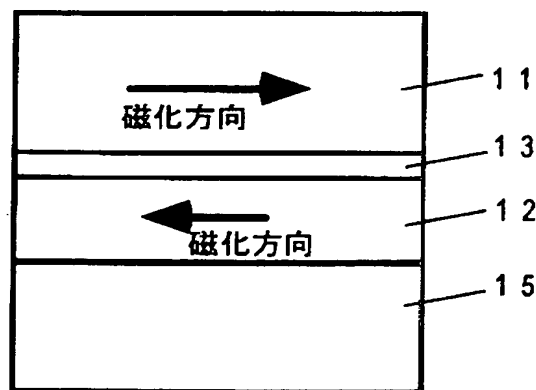
(54) 【発明の名称】 磁気記録媒体

(57) 【要約】

【課題】 高分解能、低ノイズ、かつ熱揺らぎの小さな高密度磁気記録に好適な磁気記録媒体、及びこの媒体等を用いた場合に実現される大容量磁気記憶装置を提供する。

【解決手段】 非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体であって、基板に近い側の磁性層の磁気異方性磁界  $H_{kB}$  と、基板から遠い側の磁性層の磁気異方性磁界  $H_{Ka}$  との比  $H_{kB}/H_{Ka}$  が0.7以下、より好ましくは0.4以上0.65以下である磁気記録媒体を用いる。

図 3



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体であって、基板に近い側の磁性層の磁気異方性磁界 $H_{k1}$ と、基板から遠い側の磁性層の磁気異方性磁界 $H_{k2}$ との比 $H_{k2}/H_{k1}$ が0.7以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項2】上記異方性磁界の比 $H_{k2}/H_{k1}$ が0.4以上0.65以下であることを特徴とする請求項1に記載の磁気記録媒体。

【請求項3】非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体であって、基板に近い側の磁性層Aの200ケルビンにおける保磁力と100ケルビンにおける保磁力とを絶対温度零度に外挿した値 $H_{coA}$ と、基板から遠い側の磁性層Bの200ケルビンにおける保磁力と100ケルビンにおける保磁力とを絶対温度零度に外挿した値 $H_{coB}$ との比 $H_{co2}/H_{co1}$ が0.7以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項4】上記保磁力の比 $H_{co2}/H_{co1}$ が0.4以上0.65以下であることを特徴とする請求項2に記載の磁気記録媒体。

【請求項5】非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体において、基板に近い側の磁性層Aの200ケルビンにおける保磁力と100ケルビンにおける保磁力とを絶対温度零度に外挿した値を $H_{coA}$ 、基板から遠い側の磁性層Bの200ケルビンにおける保磁力と100ケルビンにおける保磁力とを絶対温度零度に外挿した値を $H_{coB}$ 、磁気記録再生装置として組み合わせて用いる磁気記録用ヘッドからの磁界のトラック方向成分が該トラックの中心かつ磁性層Aの厚み方向の中心で $H_{coA}$ となる位置におけるヘッド磁界のトラック方向成分の該トラック方向への微分値を $dH/dx$ 、該磁気記録用ヘッドを用いて該磁気記録媒体上に形成された孤立遷移の磁化遷移幅を $\pi a$ とすると、値 $(H_{coA}H_{coB}) / (\pi a \times dH/dx)$ が0.8以上であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項6】上記値 $(H_{coA}H_{coB}) / (\pi a \times dH/dx)$ が0.9以上、1.5以下であることを特徴とする請求項5に記載の磁気記録媒体。

【請求項7】非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体であって、基板に近い側の磁性層の磁気異方性エネルギー $K_uB$ と、基板から遠い側の磁性層の磁気異方性エネルギー $K_uA$ との比 $K_uB/K_uA$ が0.7以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項8】上記比 $K_uB/K_uA$ が0.4以上0.65以下であることを特徴とする請求項7記載の磁気記録媒体。

【請求項9】30ケルビンにて、トラック方向に磁界を印加して磁気飽和させた後、磁界を毎秒3000A/mの大きさで磁界を減少させ、さらに逆方向に磁界を印加して磁気飽和に至らせる過程において、磁化の磁界による微分値が少なくとも2つ以上のピークを持ち、該ピークを与える磁界が全て最後に磁気飽和させた磁界の方向であることを特徴とする請求項1ないし8に記載の磁気記録媒体。

【請求項10】非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体において、135ケルビンにて、トラック方向に磁界を印加して磁気飽和させた後、磁界を毎秒3000A/mの大きさで磁界を減少させ、さらに逆方向に磁界を印加して磁気飽和に至らせる過程において、磁化の磁界による微分値が少なくとも2つ以上のピークを持ち、該ピークを与える磁界のうち、少なくとも1つは最後に磁気飽和させた磁界の逆方向であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項11】非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体であって、基板に近い側の磁性層の飽和磁化が、基板から遠い側の磁性層の飽和磁化に比べて大きいことを特徴とする請求1ないし10に記載の磁気記録媒体。

【請求項12】上記基板に近い側の磁性層としてCoまたはCoを主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pdの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金、好ましくは加えてB(ボロン)を含むことを特徴とする請求11に記載の磁気記録媒体。

【請求項13】上記非磁性中間層が、Ru、Ir、Rh、Re、Cu、Cr、Alからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む合金、またはRu、Ir、Rhの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素とPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素との合計が50at%以上である合金であることを特徴とする請求項1ないし12に記載の磁気記録媒体。

【請求項14】上記非磁性中間層をRFスパッタ法で作成することを特徴とする請求項13に記載の磁気記録媒体。

【請求項15】上記基板から遠い側の磁性層がCo、Fe、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む結晶質磁性体を含み、更に、上記基板に近い側の磁性層がCr、Mo、W、Ta、V、Nb、Ta、Ti、Ge、Si、Co、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素を50at%以上含む非磁性下地膜上に形成されたことを特徴とする請求項1ないし14に記載の磁気記録媒体。

【請求項16】巨大磁気抵抗効果素子あるいは、磁気抵抗効果を示すトンネル接合膜を用い、実効トラック幅が

0.5  $\mu\text{m}$ 以下である再生素子を有する磁気ヘッドと請求項1ないし15記載の磁気記録媒体とを組み合わせる磁気情報の再生を行うことを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項17】記録部に、飽和磁束密度が1.8 T以上の磁極を用いたヘッドを用いることを特徴とする請求項5、または6、または16に記載の磁気記憶装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子計算機及び情報処理装置等に用いられる磁気ディスク装置、デジタルVTR等の情報家電用の磁気記憶装置及びその磁気記録媒体に係り、特に、高密度記録を実現する上で好適な磁気記録媒体およびこれを用いた磁気記憶装置に関する。

【0002】

【従来の技術】情報機器の記憶（記録）装置には、半導体メモリと磁性体メモリ等が用いられる。高速アクセス性の観点から内部記憶装置には半導体メモリが用いられ、大容量・低コストかつ不揮発性の観点から外部記録装置として磁性体メモリが用いられている。磁性体メモリの主流は、磁気ディスク装置、及び磁気テープ、磁気カード装置である。磁気ディスク、磁気テープや磁気カードといった記録媒体に磁気情報を書き込むため、強磁界を発生する磁気記録部が用いられる。更に、高密度で記録された磁気情報を再生するため、磁気抵抗現象ないしは、電磁誘導現象を利用した再生部が用いられる。最近では、巨大磁気抵抗効果、トンネル型磁気抵抗効果も検討され始めている。これら機能部は、磁気ヘッドと呼ばれる入出力用部品に共に設けられている。図10に磁気ディスク装置の基本構成を示す。同図(a)は、装置の平面図、(b)は(a)に示されたA-A'での断面図を示す。記録媒体101は、回転軸受け104に固定され、モータ100により回転する。図10では5枚の磁気ディスク、10本の磁気ヘッドを搭載した例において、磁気ディスク3枚分と磁気ヘッド4本について示したが、磁気ディスク1枚以上、磁気ヘッド1本以上であれば良い。磁気ヘッド102は、回転する記録媒体面上を移動する。磁気ヘッドは、アーム105を介してロータリアクチュエータ103に支持される。サスペンション106は、磁気ヘッド102を記録媒体101に所定の荷重で押しつける機能を有する。再生信号の処理及び情報の入出力には、所定の電気回路が必要である。最近では、PRML(Partial Response Maximum Likelihood)、あるいはこれをエンハンスしたEPRML(Extended PRML)と言った、高密度化時の波形干渉を積極的に活用した信号処理回路が導入され、高密度化に大きく寄与している。これらは、ケース108等に取り付けられる。磁気ヘッドに搭載される情報の書き込み及び再生機能部は、例えば図11に示す構造から構成される。書き込み部111は、渦巻き型コイル116とこれを上下に包みかつ磁気

的に結合された磁極117と磁極118から構成される。磁極117と磁極118は、共に磁性膜パターンから構成される。再生部112は、磁気抵抗効果素子113と同素子に定電流を流し、かつ抵抗変化を検出するための電極119から構成される。これら書き込み部と再生部の間には、磁気的なシールド層を兼ねる磁極118が設けられている。磁気抵抗効果素子113の下層にはさらにシールド層115が設けられている。再生分解能は、このシールド層115と磁極(シールド層兼用)118との間隙長が短いほど大きくなる。以上の機能部は、上記磁気ヘッドスライダ1110上に形成されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】磁気記録ディスク装置を大容量化するには、図10の記録媒体101に記録される磁気情報を高密度化すればよい。しかし、従来用いられている磁気記録媒体は微小な結晶粒子で構成されているため、高記録密度化に伴い1ビットあたり粒子数が少なくなりノイズが大きくなるという問題があった。これに対し、磁性粒子径を小さくし、磁性粒界での非磁性成分の偏析を促進して磁性粒子間の相互作用を小さくすることでノイズ低減を図って来ている。ところが、最近の年率50%以上の効率でさらに記録密度を高め15 Gb/in<sup>2</sup>程度以上の面記録密度で記録再生しようとする、磁性粒子の体積が小さくなるのに伴い、熱揺らぎによる記録磁化の減衰（熱減磁）が深刻な問題となっている。これは、媒体を構成する粒子の磁化が熱で反転させられる現象で、ノイズ低減のために粒子の径を小さくすると顕著になる。このため、岩崎らによって提案された垂直磁気記録法では、この熱揺らぎの影響が緩和されることが期待されている。また2000年のIntermag国際会議では、熱減磁抑制対策として富士通、IBMより、磁性層がRuを介して反強磁性的に結合した面内媒体（AFC媒体と呼ぶ）が提案された。この新しく提案された媒体は、書き込み磁界が大きくなってしまい、熱減磁抑制メリットが相殺されてしまう可能性が高いと考えられていた。ここで、図3を用いて本発明のベースとなる反強磁性結合（AFC）媒体について説明する。図3は媒体の断面構造を概念的に示したものである。非磁性基板15上に形成された下層磁性層12、さらに非磁性中間層13を介して形成された記録磁性層11からなる。非磁性中間層13としてRuを用いると、記録磁性層11と下層磁性層12との間に交換相互作用が働くようになる。このときの結合エネルギーJは、Ru非磁性中間層13の厚さに対して図4に示すような振動的な変化をする。記録磁性層11の磁化方向と下層磁性層12の磁化方向は、交換結合エネルギーJが負の値をとるときには反平行に、交換結合エネルギーJが正の値をとるときには平行に配置するような交換相互作用が働く。そこでRu非磁性中間層13の厚さを負値のピークの厚さに設定することにより、記録磁性層11の磁化と下層磁性層12の磁化とを反強磁

性的（反平行）に結合させることが可能となる。記録磁性層11の膜厚と残留磁化の積は、下層磁性層12の膜厚と残留磁化の積より大きく採るものとする。簡単のため、記録磁性層11と下層磁性層12の飽和磁化 $M_s$ 、磁気異方性エネルギー $K_u$ を同じと仮定し、記録磁性層11の粒子体積を $v_1$ 、下層磁性層12の粒子体積を $v_2$ とする。反強磁性相互作用が十分強い場合には、大きいほど耐熱揺らぎ性が向上する指標となる $K\beta (=K_u \cdot v / (k \cdot T))$ 、 $k$ ：ボルツマン定数、 $T$ ：絶対温度）値が $K_u(v_1 + v_2) / (k \cdot T)$ となり、記録磁性層11単独の $(K_u \cdot v_1) / (k \cdot T)$ に比べて、下層磁性層12の持つ $K\beta$ 値 $((K_u \cdot v_2) / (k \cdot T))$ だけ大きくなり、熱的に安定となる。ところが、記録磁性層11の磁化と下層磁性層12の磁化とが反平行であるため、全体の飽和磁化が実効的に減少して $M_s(v_1 - v_2) / v_1$ となるため、磁化を反転させる磁界を決定する系の実効的な異方性磁界 $(2 \cdot K_u / M_s)$ は、 $(2 \cdot K_u / M_s) \cdot (v_1 + v_2) / (v_1 - v_2)$ となる。したがって熱的安定性を得ようとして $v_2$ を大きくすればする程、磁化の反転磁界が大きくなることが理解される。しかし、2001年のIntermag国際会議では、反強磁性結合があまり大きくないAFC媒体では書き込み磁界が大きくなることが報告された。この場合、媒体の実効的な $K\beta$ 値は記録磁性層の $K\beta$ 値にほぼ一致する。ただし、上下層の磁気特性がほぼ等しいこのAFC媒体では、R/W特性が劣化しており、同等のR/W特性を得るために全体の膜厚を薄くすると熱減磁特性の改善効果は極めて小さくなり、熱揺らぎ特性とR/W特性の両立が困難であった。反強磁性結合があまり大きくないAFC媒体では、書き込み時に記録磁性層11の磁化と下層磁性層12の磁化とが平行になっているモデルが報告されている。本発明の目的は、高分解能、低ノイズ、かつ熱揺らぎの小さな高密度磁気記録に好適な磁気記録媒体、及びこの媒体等を用いた場合に実現される大容量磁気記憶装置を提供することにある。

#### 【0004】

【課題を解決するための手段】上記目的を実現するため、媒体構造、材料、プロセス、及びヘッド等の装置関係技術に付いて鋭意検討を進め、下記的手段が極めて効果が高いことを発見した。本媒体特性の理解には、書き込み後の再配列過程が重要である。書き込み直後に記録磁性層11の磁化と、ほぼ平行であった下層磁性層12の磁化とが熱揺らぎの影響で反転し、反平行になる過程である。熱揺らぎによる反転は確率過程であって、ほとんどの粒子が再配列を完了し、上下層で反平行な磁化の対となるには有限な時間を要する。再配列が未完の場合には、残留磁化が大きすぎて再生分解能が劣化し、熱減磁も大きくなる。AFC媒体とこれに記録する磁気ヘッドの相対的な移動方向であるトラック方向は、通常の面内記録においては、概磁化が記録される方向である。このトラック方向に磁界を印加して磁気飽和させた後、磁界を減少させ、さらにこのトラックの逆方向に磁界を印加し

て磁気飽和に至らせる過程（M-Hループ）においては、積層された磁性層の各層ごとの磁化が異なる磁界で反転するのが観察される。図5(a)は、毎秒300A/mの大きさを磁界を減少させて測定した磁性層2層からなるAFC媒体のM-Hループの一例を示したものである。図の横軸を磁界軸とし、トラック方向を正として示した。図では、逆方向に磁界を印加して磁気飽和に至らせる後、磁界を大きくしてトラック方向の大きな磁界で再度磁気飽和に達するまでの過程を点線で示してある。プラスの大きな磁界からマイナスの大きな磁界へ変化する間に大きく2回に分けて変化しているのが分かる。1つ目の変化は、プラスの小さな磁界で発生しており、磁化の変化量が他方の磁化変化量に比べて小さいことから下層磁性層の磁化反転に対応していると考えられる。マイナスの大きな磁界における磁化の変化は、記録磁性層の磁化反転に対応する。図5(b)は、図5(a)の実線のM-Hループを磁界によって微分したものである。図5(b)では、それぞれの磁化反転に対応したピークが見られる。図5の例では、磁界が0の残留状態のとき、下層磁性層の磁化反転に伴う磁化の変化は消失しており、再配列が完了していると考えられる。図6(a)、(b)は、図5と同じAFC媒体を毎秒3000A/mの大きさを磁界を減少させて測定したM-Hループとその磁界微分を示したものである。図6では、下層磁性層の磁化反転する磁界がほぼ0へと移動しているのが分かる。これは磁界の変化が大きかったために下層磁性層が磁化反転するタイミングが遅れたためと考えられる。これに対して記録磁性層の磁化反転する磁界は余り大きな変化が見られない。この原因は、下層磁性層の磁化反転が熱揺らぎによって確率的に起っているとする理解しやすい。実際、毎秒300A/mの磁界減少でも測定温度を約60度下げることにより、図6とほぼ同じM-Hループが得られた。図6では、磁界が0の残留状態のとき、下層磁性層の磁化反転は、まだ半分しか終わっていない。この状態では、残留磁化が大きく、さらに時間変化する。図6の測定よりもさらに大きな磁界変化、またはより低温での測定では、下層磁性層の磁化反転する磁界がマイナスの値へと移動する。以上のことから、1) AFC媒体のM-Hループまたはその磁界微分を調べることにより、再配列の状況が把握できること、2) M-Hループ測定時の磁界掃引速度を一定としても、磁界掃引速度を変えた場合とほぼ等価な測定温度が存在すること、が判明した。磁気ディスク装置において書き込み直後にディスクが1回転し、読み取り動作に入るまでの時間を約10ミリ秒と考え、この時間までに下層磁性層の磁化反転が終わり再配列が完了する条件につき種々のAFC媒体において検討したところ、毎秒3000A/mの大きさを磁界を変化させる場合には、135ケルビンにてM-Hループ測定をし、その磁界微分を取ったとき、下層磁性層の磁化反転に対応するピークを与える磁界が0またはプラスの値であれば良いことが分かった。

磁界掃引速度を速める場合には、1桁あたり約30度高い温度で測定すれば良い。以上のように、AFC媒体を活用して大容量磁気記憶装置を実現するには、従来媒体で考慮されていた記録、再生過程と耐熱特性に加えて再配列過程を制御する必要がある。非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体は、AFC媒体の構成を示すものである。基板に近い側の磁性層を下層磁性層、基板から遠い側の磁性層を記録磁性層とする。記録磁性層の膜厚とその残留磁化の積は、下層磁性層の膜厚と残留磁化の積より大きく採るものとする。各磁性層の残留磁化の大きさは、図5で示した各磁性層に対応する磁化の変化量の半分の値として良い。記録磁性層の膜厚とその残留磁化の積から下層磁性層の膜厚と残留磁化の積を引いた値を記録磁性層の残留磁化で除したものは、長さの次元を持ち、AFC媒体の実効膜厚として単層媒体との比較に用いる場合が多い。実効膜厚の大きさは、残留磁化量および再生ヘッドの感度とトラック幅とによって決定される。非磁性基板には、ガラス、NiPメッキAl、セラミックス、Si、プラスチック等からなる3.5、2.5、1.8、1径等の円盤状もしくはテープ、カードの形状をしており、さらに表面にCr、Mo、W、Ta、V、Nb、Ti、Ge、Si、Co、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素を50%以上含む、Cr、Mo、W、CrMo、CrTi、CrCo、NiCr、Ta、CoCr、Ta、TiCr、C、Ge、TiNb、非磁性CoCr/CrTi積層下地、非磁性CoCrTa/CrTi/Cr積層下地等の非磁性層を形成させることにより、下層磁性層、記録磁性層の結晶粒径、配向性等が制御できる。表面の非磁性層を多層化することは、制御の自由度が増え、特に熱揺らぎの低減等での見地で、更に好ましい。記録磁性層には通常磁気記録媒体として用いている、Co-Cr-Pt、Co-Cr-Pt、Co-Pt、Fe-Co-Ni合金等のCo、Fe、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む結晶質磁性体を用いればよい。ただし、従来の単層磁性層媒体より厚めに作成する必要があるため、粒径の拡大を抑制し、粒内の交換相互作用を下げない配慮が必要となる。下層磁性層の膜厚と残留磁化の積を一定に保つ場合、下層磁性層の飽和磁化が大きいほど、下層磁性層の膜厚を小さくすることができるため、以下に詳しく述べる記録過程における遷移幅の短縮に大きく寄与する。下層磁性層としてCo またはCo を主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pdの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金を用いることにより、記録磁性層と同じ結晶構造と必要な磁気異方性を持つ磁性層が形成可能となる。下層磁性層にB(ボロン)が含まれていると、磁性粒径が小さくなりノイズ低減効果が顕著となる。非磁性中間層にはRuの他、Ir、Rh、Re、Cu、Crを用いると隣接する磁性膜間を反強磁性的に結合させることができる。Ruは、公知例にもあるように反強磁性結合磁界を大きくすることが

できると考えられている。ただしRuは白金族元素のためPtとの親和性が高いので、磁性膜としてCoCrPt、CoCrPtB等のPtを含む合金を用いる場合には大きな反強磁性結合磁界が得られない場合がある。反強磁性結合磁界を制御するには、磁性膜中のPt組成や、磁性膜の非磁性中間層と接する界面のPt組成を変える必要がある。また磁性膜として飽和磁化の大きな材料を用いるのも反強磁性結合磁界を大きくするのに有効である。反強磁性結合磁界は、磁性材料と非磁性中間層との界面状態に敏感なため、膜の作成条件にも大きく作用される。特にRFS法では大きな反強磁性結合磁界が得られる。DCS法では得られる反強磁性結合磁界はRFS法の1/3程度であるが、MBE法よりも倍大きい。中間層の作成には、必要な結合磁界が得られる方式を用いるのが良い。非磁性中間層としてIr、Rh、Reを用いる場合は、Ruと比べて多少反強磁性結合磁界が小さいが、安価に得られるため大量生産に向いている。Ir、Rhは白金族元素のため、CoCrPt、CoCrPtB等のPtを含む合金を用いる場合には、反強磁性結合磁界を制御するために、磁性膜中のPt組成や、磁性膜の非磁性中間層と接する界面のPt組成を変える必要がある。Rh、Cuは、延性、展性に富む金属であり、反強磁性結合磁界が最大になる厚さもRu、Ir、Reの約倍の0.8nm程度であるため、厚さむら、ピンホール等による反強磁性結合磁界のディスク面内のバラツキが小さく、磁気特性のそろった良質の媒体が得られる。また、Ru、Ir、Reは、反強磁性結合磁界が得られる膜厚の範囲がその平均に比べて広いので、工程管理的に優れている。非磁性中間層としてCu、Crを用いる場合は、Co合金磁性膜との格子整合性が良いので記録磁性層の結晶性、配向性が向上する。Crを用いる場合には、接する磁性膜、または磁性膜の表面にFeが含まれていると大きな反強磁性結合磁界が得られて良い。弱結合AFC媒体の非磁性中間層には、Ru、Ir、Rh、Re、Cu、Crもしくは、Ru、Ir、Rh、Re、Cu、Crの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素を50at%以上含んだ合金を用いると良い。特に、Ru、Ir、Rhの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素とPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素を含む合金を用いると、組成比制御によって反強磁性結合エネルギーを $0 \sim 5 \text{ mJ/m}^2$ の広い範囲で自由かつ安定に制御することが可能となる。これは、Pt、Pdに反強磁性結合作用が無く( $J=0$ )、Ru、Ir、Rh、Pt、Pdが同じ白金族元素なので親和性が高いので、合金の構成元素が微小領域でも均一に混ざり合っているためである。強い結合AFC媒体の非磁性中間層には、Ru、Ir、Rh、Crもしくは、Ru、Ir、Rh、Crの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素を含んだ合金を用いると良い。Crを用いる場合には、接する磁性膜、または磁性膜の表面にFeが含まれていると大きな反強磁性結合磁界が得られて良い。AFC媒体における各磁性層の磁気異方性磁界の測定には、強磁性共鳴法を用いるのが良い。磁界を膜面垂直

に印加することにより、面内に磁気異方性軸を持つ媒体の異方性磁界 $H_K$ が測定可能となる(J. Appl. Phys., Vol. 85, No. 8, 4720(1999)。共鳴周波数を $f$ 、磁気回転比を $\gamma$ 、磁性層の飽和磁束密度を $B_s$ 、とすると、式

$$(2\pi f/\gamma)^2 = (H_r - B_s)(H_r - B_s - H_K)$$

で与えられる共鳴磁界 $H_r$ が各磁性層の $H_K$ に対応してえられる。磁気力顕微鏡(MFM)により、孤立遷移の磁化遷移幅を観察すると、AFC媒体の下層磁性層の磁気異方性磁界 $H_{KB}$ と、記録磁性層の磁気異方性磁界 $H_{KA}$ との比 $H_{KB}/H_{KA}$ に応じて磁化遷移幅が変化する。単層面内媒体との比較により、比 $H_{KB}/H_{KA}$ が0.7を超えると、記録磁性層と同じ膜厚の単層面内媒体より広い磁化遷移幅となり好ましくない。さらに、比 $H_{KB}/H_{KA}$ が0.4以上0.65以下であれば実効膜厚が同等の単層面内媒体と同程度の急峻な磁化遷移幅が得られる。図6の磁化曲線において下層磁性層の反転が終わった段階(磁界)で磁界の変化の向きを逆転させ、マイナーループを形成したのが、図7である。下層磁性層がヒステリシスを持っているのが分かる。このマイナーループは、プラスの磁界方向にシフトしており、マイナーループ中心磁界を通常、反強磁性結合磁界 $H_{exB}$ と呼んでいる。記録磁性層と下層磁性層の反強磁性的交換相互作用の大きさ $J$ は、 $H_{exB}/(M_s B/tB)$ で見積もられる。ただし、 $M_s B$ 、 $tB$ は、下層磁性層の飽和磁化と膜厚である。また、このマイナーループの磁界方向の差し渡しの半値は、下層磁性層の保磁力と考えられる。メジャーの磁界方向の差し渡しの半値は、記録磁性層の保磁力である。下層磁性層は記録磁性層に比べて熱揺らぎが大きく、測定温度が変わると保磁力が大きく変化する。図8は、記録磁性層、下層磁性層の保磁力の温度変化を示したものである。これらは、概直線的に推移しており、200ケルビンおよび100ケルビンにおける保磁力を直線で結ぶとほぼ絶対0度になる。本測定においては、磁界掃引速度によって200ケルビンおよび100ケルビンにおける保磁力値は変化するが、絶対0度における推定値は変わらない。この推定値は、上記異方性磁界に対してほぼ40%の値となっていた。記録磁性層の絶対温度零度における保磁力 $H_{coA}$ と、下層磁性層の絶対温度零度における保磁力 $H_{coB}$ との比 $H_{coB}/H_{coA}$ に対する磁化遷移幅の挙動は、磁気異方性の比 $H_{KB}/H_{KA}$ と同様である。磁化遷移幅の改善効果のメカニズムを調べるため、マイクロ磁気シミュレーションを行った。改善効果が大きい場合には、磁気異方性の小さな下層磁性層に形成される磁化遷移の位置が、記録磁性層の遷移位置よりヘッド後方に形成されており、下層磁性層の磁化遷移からの磁界によって、記録磁性層の遷移位置のヘッド磁界が変調を受け磁界勾配 $dH/dx$ が急峻化されることが判明した。記録磁性層の遷移位置と下層磁性層の遷移位置との差が磁化遷移幅以上に近づくと、この効果は急速に消失する。値 $(H_{coA} - H_{coB}) / (\pi a \times dH/dx)$

が0.8より小さい場合には、下層磁性層の磁化遷移からの磁界が逆に作用するようになり、磁化遷移幅は急速に増大する。値 $(H_{coA} - H_{coB}) / (\pi a \times dH/dx)$ が0.9以上1.5以下であれば、十分なヘッド磁界磁界勾配の急峻化が得られる。値 $(H_{coA} - H_{coB}) / (\pi a \times dH/dx)$ が1.5を超える場合には記録磁性層の遷移位置と下層磁性層の遷移位置との差が大きすぎてヘッド磁界がほとんど変わらない。磁気異方性エネルギー $K_u$ は、関係式 $H_K = 2K_u/M_s$ から算出するか、残留保磁力のパルス時間依存性をVSM測定や逆DC消磁法より求めSharockの式にフィッティングして求めた $K\beta$ 値から関係式 $K\beta = K_u \times v / (kT)$ を使って算出すればよい。下層磁性層の磁気異方性エネルギー $K_{uB}$ と、記録磁性層の磁気異方性エネルギー $K_{uA}$ との比 $K_{uB}/K_{uA}$ が0.7を超えると分解能が記録磁性層単独の磁性層からなる従来媒体より悪くなる。比 $K_{uB}/K_{uA}$ が0.4以上0.65以下であると実効膜厚と同程度の従来媒体並みの分解能が得られる。このときのAFC媒体の $K\beta$ 値は、実効膜厚と同程度の従来媒体に比べて30%以上大きくできる。以上のような磁気異方性の最適化によるAFC媒体のR/W特性の向上は、弱い反強磁性的結合による記録磁性層、下層磁性層の平行配置を前提としており、数ナノ秒で再配列が完了してしまう状況では十分な改善効果が得られない。30ケルビンにて、磁界を毎秒3000A/mの大きさに磁界を減少させ、測定されたM-Hループを磁界で微分してピークを求めたとき、下層磁性層の磁化反転に対応するピークがマイナスの値を持つ必要がある。記録された情報の再生には、巨大磁気抵抗効果素子あるいは、磁気抵抗効果を示すトンネル接合膜を用い、実効トラック幅が0.5 $\mu m$ 以下である再生素子を有する磁気ヘッドとを組み合わせて磁気情報の再生を行う事で、信号処理方式の助けを借りて、装置動作に必要な20dB以上の装置S/Nが得られ、EPRMLやEEPRL、トレリス符号、ECC等と組み合わせる事で面記録密度40 Gb/in<sup>2</sup>以上で記録再生する事が出来る。記録部に、飽和磁束密度が1.8 T以上の磁極を用いたヘッドを用いることで、より大きな磁気異方性を有する記録磁性層材料が使えるようになるので好ましい。ここで、巨大磁気抵抗効果素子(GMR)、及びトンネル型磁気ヘッドについては、特開昭61-097906、特開平02-61572、特開平04-358310、特開平07-333015、及び特開平02-148643、02-218904号各公報に記載されている技術であり、KrFステッパによるリソグラフィ、もしくはFIB加工技術等を駆使して実効トラック幅が0.5 $\mu m$ 以下を実現した。

#### 【0005】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の内容を実施例および比較例によって詳細に説明する。

(実施例) 図2を用いて本発明の第1の実施例を述べる。図は、本発明を実施した磁気ディスクの概念図である。14はガラス、NiPメッキAl、セラミックス、Si、



プラスチック等からなり、3.5、2.5、1.8、1径等の円盤状もしくはテープ、カード上の非磁性基板、記録磁性層11はCo、Fe、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む、CoCrPt、CoCrTa、CoNiPt、CoPt-SiO<sub>2</sub>、FeNiCo、CoFeTa、NiTa、CoW、CoNb、GdFeCo、GdTbFeCo、Fe-N、Co-CoO等の結晶質磁性体、下層磁性層12は、非磁性下地層はCr、Mo、W、Ta、V、Nb、Ta、Ti、Ge、Si、Co、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素を50%以上含む、Cr、Mo、W、CrMo、CrTi、CrCo、NiCr、Ta、CoCr、Ta、TiCr、C、Ge、TiNb等の非磁性下地層、及び、Co、Fe、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む、CoCrPt、CoCrTa、CoNiPt、CoPt-SiO<sub>2</sub>、FeNiCo、CoFeTa、NiTa、CoW、CoNb、GdFeCo、GdTbFeCo、Fe-N、Co-CoO等の結晶質磁性体を含み、16はN添加C、H添加C、BN、ZrNbN等の保護膜、17はOH、NH<sub>2</sub>等の吸着性、もしくは反応性の末端基を有するパーフルオロアルキルポリエーテル、金属脂肪酸等の潤滑剤である。非磁性中間層13はRu、Ir、Rh、Re、Cu、Cr、Alからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む合金、またはRu、Ir、Rhの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素とPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素との合計が50at%以上である合金である。下層磁性層12と非磁性下地15との間には、更に組成を調整した、より磁性膜との格子常数のマッチングがとりやすい第2の非磁性下地層を設けても良い。また、いずれかまたは両方の磁性層と非磁性中間層の間にPt組成の低い材料を用いると反強磁性結合が安定化し、飽和磁化の大きな材料を用いると結合が強くなる。下層磁性層としてCoまたはCoを主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pdの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金を用いることにより、記録磁性層と同じ結晶構造と必要な磁気異方性を持つ磁性層が形成可能となる。下層磁性層にB(ボロン)が含まれていると、磁性粒径が小さくなりノイズ低減効果が顕著となる。ここで、下地膜、磁性層、非磁性中間層は、ともに基板14上に、低圧のArガスを用い、なお、本設備では、下地と磁性膜とで独立にパラメータを変えられる様にしてある。この際、本設備では、Ar圧力は1-10mTorr、基板温度は100-300℃、製膜速度0.1-1nm/sとした。下地層にはCr、Ta、Nb、V、Si、Geの他に、Co60Cr40、Mo90-Cr10、Ta90-Cr10、Ni50Cr50、Cr90-V10、Cr90-Ti10、Ti95-Cr5、Ti-Ta15、Ti-Nb15、TiPd20、TiPt15等の合金を単層ないしは異種の金属層からなる2層として用い、下地組成の異なる試料を用意した。下地層の総膜厚は10から100nm、CoCrPtないしはCoCrPt(Ta、V)等の磁性層は10から100nm、保護層は10nmである。記録磁性層のCo合金系磁性層のCr含量は19から23原子パーセント、Pt含量は4から20原子パーセント、V、Ta含量は2から5原子パーセントとした。記録磁性層の膜厚、飽和磁化、異方性磁界はそれぞれ12-22nm、0.3-0.7

T、500-1200kA/mで変化させた。下層磁性層の膜厚、飽和磁化、異方性磁界はそれぞれ1-8nm、0.3-1.5T、100-1200kA/mで変化させた。非磁性中間層にはRuの他、Ir、Rh、Re、Cu、Crを用いると隣接する磁性膜間を反強磁性的に結合させることができる。Ruは、公知例にもあるように反強磁性結合磁界を大きくすることができると考えられている。ただしRuは白金族元素のためPtとの親和性が高いので、磁性膜としてCoCrPt、CoCrPtB等のPtを含む合金を用いる場合には大きな反強磁性結合磁界が得られない場合がある。反強磁性結合磁界を制御するには、磁性膜中のPt組成や、磁性膜の非磁性中間層と接する界面のPt組成を変える必要がある。また磁性膜として飽和磁化の大きな材料を用いるのも反強磁性結合磁界を大きくするのに有効である。反強磁性結合磁界は、磁性材料と非磁性中間層との界面状態に敏感なため、膜の作成条件にも大きく作用される。特にRFスパッタ法では大きな反強磁性結合磁界が得られる。DCスパッタ法では得られる反強磁性結合磁界はRFスパッタ法の1/3程度であるが、MBE法よりも倍大きい。中間層の作成には、必要な結合磁界が得られる方式を用いるのが良い。非磁性中間層としてIr、Rh、Reを用いる場合は、Ruと比べて多少反強磁性結合磁界が小さいが、安価に得られるため大量生産に向いている。Ir、Rhは白金族元素のため、CoCrPt、CoCrPtB等のPtを含む合金を用いる場合には、反強磁性結合磁界を制御するために、磁性膜中のPt組成や、磁性膜の非磁性中間層と接する界面のPt組成を変える必要がある。Rh、Cuは、延性、展性に富む金属であり、反強磁性結合磁界が最大になる厚さもRu、Ir、Reの約倍の0.8nm程度であるため、厚さむら、ピンホール等による反強磁性結合磁界のディスク面内のバラツキが小さく、磁気特性のそろった良質の媒体が得られる。また、Ru、Ir、Reは、反強磁性結合磁界が得られる膜厚の範囲がその平均に比べて広いので、工程管理的に優れている。非磁性中間層としてCu、Crを用いる場合は、Co合金磁性膜との格子整合性が良いので記録磁性層の結晶性、配向性が向上する。Crを用いる場合には、接する磁性膜、または磁性膜の表面にFeが含まれていると大きな反強磁性結合磁界が得られて良い。弱結合AFC媒体の非磁性中間層には、Ru、Ir、Rh、Re、Cu、Crもしくは、Ru、Ir、Rh、Re、Cu、Crの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素を50at%以上含んだ合金を用いると良い。特に、Ru、Ir、Rhの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素とPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素を含む合金を用いると、組成比制御によって反強磁性結合エネルギーを0~5mJ/m<sup>2</sup>の広い範囲で自由かつ安定に制御することが可能となる。これは、Pt、Pdに反強磁性結合作用が無く(J=0)、Ru、Ir、Rh、Pt、Pdが同じ白金族元素なので親和性が高いので、合金の構成元素が微小領域でも均一に混ざり合っているためである。強い結合AFC媒体の非磁性中間層には、Ru、Ir、Rh、Crもしくは、Ru、Ir、R

h, Crの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素を含んだ合金を用いると良い。Crを用いる場合には、接する磁性膜、または磁性膜の表面にFeが含まれていると大きな反強磁性結合磁界が得られて良い。上記媒体を、飽和磁束密度1.5Tの45Ni-55FeをFIB(Focused Ion Beam)加工技術によりトラック幅0.5 $\mu$ mの磁極材とし、記録ギャップ長0.25 $\mu$ m(ギャップ材:Al2O3)とした記録部と、NiFe/Co(4nm)、Cu(2.5nm)、固定層CoFe(3nm)、CrMnPt(20nm)を順次積層し、矩形形状にパターン化した後に、その両端部に、Co80-Cr15-Pt5(10nm)/Cr(10nm)永久磁石およびTa電極膜(100nm)を配置し、KRFステッパリソグラフィ技術により電極で規定したトラック幅を0.4 $\mu$ mとした巨大磁気抵抗効果素子を2 $\mu$ mのNi80-Fe20シールド膜で挟んだ構造(シールド間隔:0.2 $\mu$ m、ギャップ材:Al2O3)の再生部とを有する磁気ヘッド素子を、Al2O3-TiC製の大きさの1.0 $\times$ 0.8 $\times$ 0.2mm<sup>3</sup>のスライダに形成した磁気ヘッドを用い、図10に示す本発明の磁気ディスク装置に実装して評価した。孤立遷移の出力に対する450kFCIにおける再生出力の割合である分解能は、下層磁性層の磁気異方性エネルギーKuBと、記録磁性層の磁気異方性エネルギーKuAとの比KuB/KuAに対して図9のような関係が得られた。比KuB/KuAが0.7を超えると分解能が記録磁性層単独の磁性層からなる従来媒体より悪くなる。比KuB/KuAが0.4以上0.65以下であると実効膜厚と同程度の従来媒体並みの分解能が得られる。このときのAFC媒体のK $\beta$ 値は、実効膜厚と同程度の従来媒体に比べて30%以上大きくできる。135ケルビンにおける磁化曲線の測定で下層下地層の反転がマイナスの磁界に現れたばいたいのは、分解能が60%未満となった。記録されたディスクを再び取り出し、磁気力顕微鏡(MFM)により、孤立遷移の磁化遷移幅を観察すると、AFC媒体の下層磁性層の磁気異方性磁界HkBと、記録磁性層の磁気異方性磁界HkAとの比HkB/HkAに依りて磁化遷移幅が変化する様子が図1のように得られた。単層面内媒体との比較により、比HkB/HkAが0.7を超えると、記録磁性層と同じ膜厚の単層面内媒体より広い磁化遷移幅となり好ましくない。さらに、比Hk2/Hk1が0.4以上0.65以下であれば実効膜厚が同等の単層面内媒体と同程度の急峻な磁化遷移幅が得られる。30ケルビンの磁化曲線評価においても再配列が発生するような場合では、磁化遷移幅は、従来媒体レベルに留まった。なおスライダは微小突起を3ヶ所設けた負圧型とし、浮上面にはC-H保護膜を設けたもので、また図10(a)は、装置の平面図、(b)は断面図である。再生信号の処理及び情報の入出力には、従来技術と同じ所定の電気回路が必要である。ここでは、EPRML(Extended Partial Response Maximum Likelihood)をエンハンスし、ECC機能を強化したMEEPRML(Modified PRML)と言う、高密度化時の波形干渉を積極的に活用した信号処理回路を導入した。なお、記録磁極を従来の1T(80N

i-20Fe組成)、1.3T(FeTaC)、1.7T(FeNiN)としたヘッドでも評価したが、1T、1.3Tでは重ね書き特性が20dBと低く、十分な急峻な記録が行えず、ノイズも極めて大きく実用に堪えず、1.5T、1.7Tの場合にだけ良好な記録を確認できた。以上から1.5T以上は必要である事がわかった。更に特開平02-148643、02-218904号各公報に記載された技術により試作した、再生トラック幅0.4 $\mu$ mのトンネル型磁気ヘッドで特性を評価した場合には全く同様の結果が得られたが、同じトラック幅の従来型MRヘッドでは、十分な再生感度が得られず、評価に堪えなかった。以上述べた実施例は、本発明で開示する類似の発明を代表するものであり、本発明から同業者が容易に類推できる例においても本発明の範囲に入るものである。例えば、RFマグネトロンスパッタ法、ECRスパッタ法、ヘリコンスパッタ法等等でも同様の効果が得られる。また、本発明で開示する磁気記録媒体によれば15Gb/in<sup>2</sup>以上の記録密度での記録再生が初めて可能となる。したがって、本発明の磁気記録媒体で可能となる磁気テープ、磁気カード、光磁気ディスク等を用いた磁気記録再生装置についても本発明の範囲にはいる。以上、本発明の磁気記録媒体、磁気記録再生装置を用いることにより高速かつ大容量の記録再生が初めて可能となる。これにより、商品競争力の極めて強い磁気記録再生装置を実現できる。

#### 【0006】

【発明の効果】本発明の磁気記録媒体、磁気記録再生装置を用いることにより高速かつ大容量の記録再生が実現できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の効果を示す主要図。

【図2】本発明の磁気記録媒体の主要部概念図。

【図3】AFC媒体の概念図。

【図4】反強磁性結合の概念図。

【図5】本発明の磁気記録媒体の磁化曲線を示す図。

【図6】本発明の磁気記録媒体の別の磁化曲線を示す図。

【図7】本発明の磁気記録媒体の磁気特性を定義する図。

【図8】本発明の磁気記録媒体における各磁性層の保磁力の温度変化を示す図。

【図9】本発明の別の効果を示す主要図。

【図10】磁気ディスク装置の概念図。

【図11】磁気ヘッドの概念図。

#### 【符号の説明】

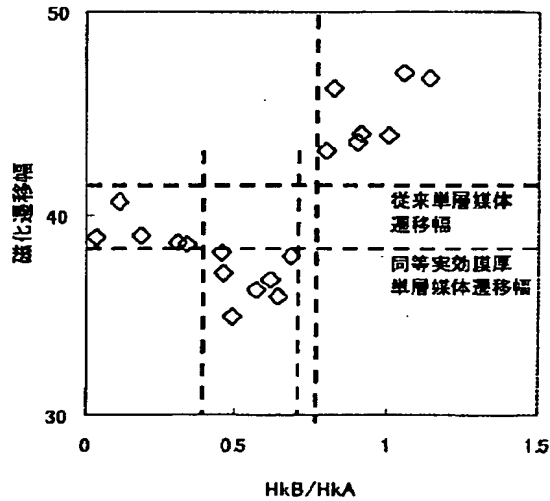
11・・・記録磁性膜、12・・・下層磁性膜、13・・・非磁性中間層、14・・・非磁性下地層、15・・・非磁性基板、16・・・保護膜、17・・・潤滑層、41・・・最大反強磁性結合エネルギーJ1、42・・・ピーク膜厚t<sub>peak</sub>、43・・・反強磁性結合反値幅d<sub>t</sub>、51・・・下層磁性層の磁化反転に伴う磁化変化量、52・・・記録磁性層の磁

化反転に伴う磁化変化量、71・・・記録磁性層の保磁力、72・・・下層磁性層のマイナーループの幅、73・・・反強磁性結合磁界、81・・・記録磁性層の保磁力の温度変化、83・・・下層磁性層の保磁力の温度変化、101・・・記録媒体、102・・・磁気ヘッド、103・・・ロータリアクチュエータ、104・・・回転軸受け、105・・・ア

ーム、106・・・サスペンション、108・・・筐体、111・・・書き込み部、112・・・再生部、113・・・磁気抵抗素子、1110・・・非磁性基板、115・・・シールド層、116・・・渦巻き型コイル、117・・・磁極、118・・・磁極(シールド層兼用)、119・・・電極。

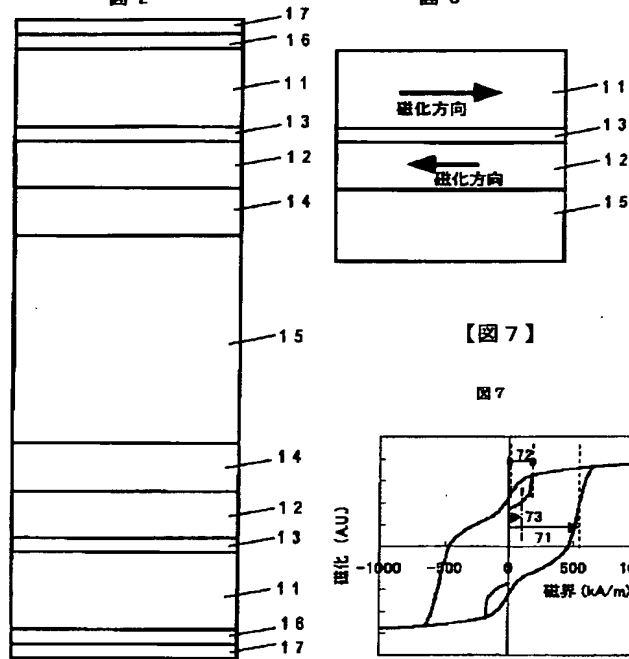
【図1】

図1



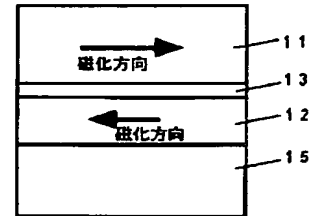
【図2】

図2



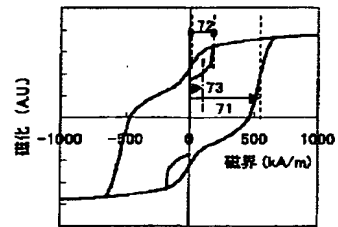
【図3】

図3



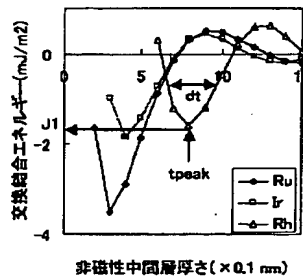
【図7】

図7



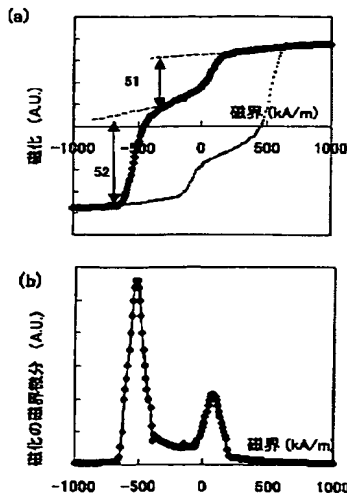
【図4】

図4



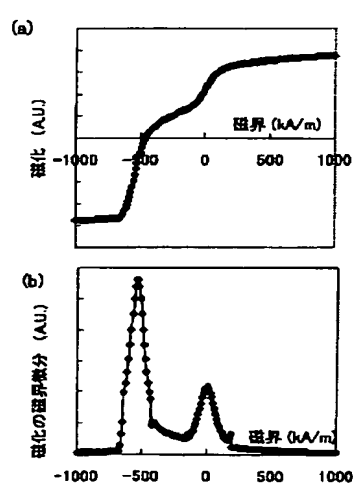
【図5】

図5



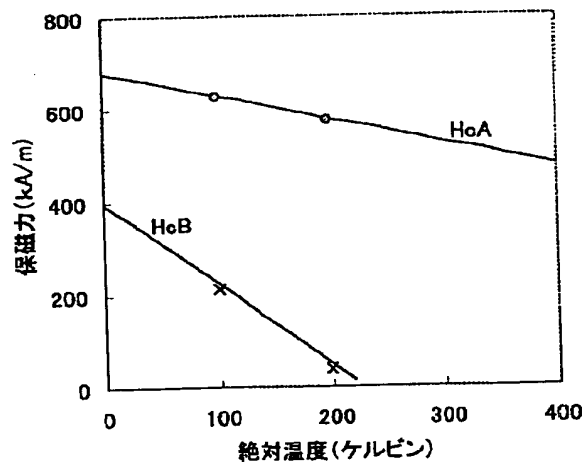
【図6】

図6



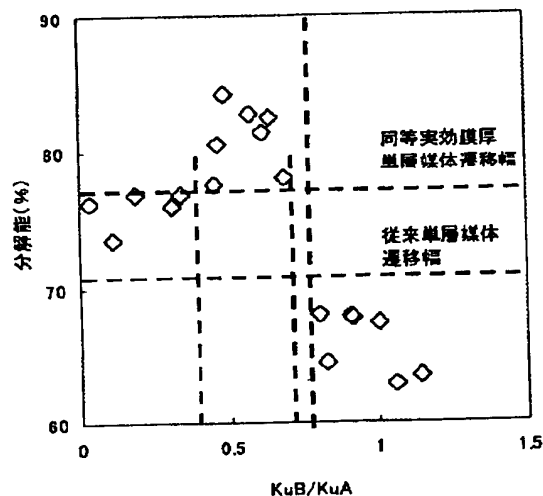
【図8】

図8



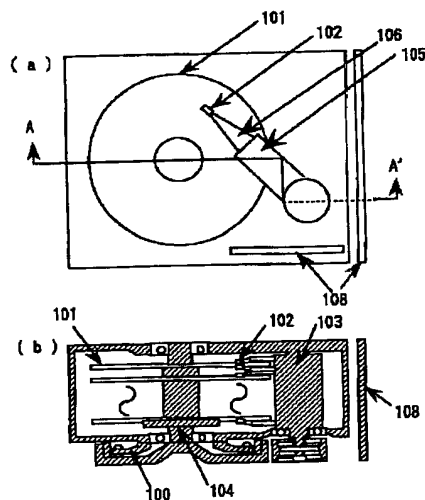
【図9】

図9



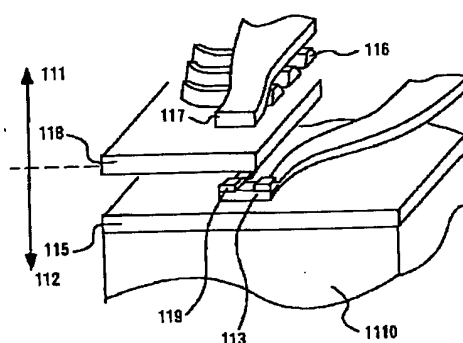
【図10】

図10



【図11】

図11



## 【手続補正書】

【提出日】平成13年8月17日(2001. 8. 17)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】磁気記録媒体

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体であって、基板に近い側の磁性層の磁気異方性磁界 $H_{kB}$ と、基板から遠い側の磁性層の磁気異方性磁界 $H_{kA}$ との比 $H_{kB}/H_{kA}$ が0.7以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項2】上記異方性磁界の比 $H_{kB}/H_{kA}$ が0.4以上0.65

以下であることを特徴とする請求項1に記載の磁気記録媒体。

【請求項3】非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体であって、基板に近い側の磁性層Bの200ケルビンにおける保磁力と100ケルビンにおける保磁力とを絶対温度零度に外挿した値 $H_{coB}$ と、基板から遠い側の磁性層Aの200ケルビンにおける保磁力と100ケルビンにおける保磁力とを保磁力を絶対温度零度に外挿した値 $H_{coA}$ との比 $H_{coB}/H_{coA}$ が0.7以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項4】上記保磁力の比 $H_{coB}/H_{coA}$ が0.4以上0.65以下であることを特徴とする請求項3に記載の磁気記録媒体。

【請求項5】非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体において、基板に近い側の磁性層Bの200ケルビンにおける保磁力と100ケルビンにおける保磁力とを絶対温度零度に外挿した値を $H_{coB}$ 、基板から遠い側の磁性層Aの200ケルビンにおける保磁力と100ケルビンにおける保磁力とを保磁力を絶対温度零度に外挿した値を $H_{coA}$ 、磁気記録再生装置として組み合わせて用いる磁気記録用ヘッドからの磁界のトラック方向成分が該トラックの中心かつ磁性層Aの厚み方向の中心で $H_{coA}$ となる位置におけるヘッド磁界のトラック方向成分の該トラック方向への微分値を $dH/dx$ 、該磁気記録用ヘッドを用いて該磁気記録媒体上に形成された孤立遷移の磁化遷移幅を $\pi a$ とすると、値 $(H_{coA}H_{coB}) / (\pi a \times dH/dx)$ が0.8以上であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項6】上記値 $(H_{coA}H_{coB}) / (\pi a \times dH/dx)$ が0.9以上、1.5以下であることを特徴とする請求項5に記載の磁気記録媒体。

【請求項7】非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体であって、基板に近い側の磁性層の磁気異方性エネルギー $K_uB$ と、基板から遠い側の磁性層の磁気異方性エネルギー $K_uA$ との比 $K_uB/K_uA$ が0.7以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項8】上記比 $K_uB/K_uA$ が0.4以上0.65以下であることを特徴とする請求項7記載の磁気記録媒体。

【請求項9】30ケルビンにて、トラック方向に磁界を印加して磁気飽和させた後、磁界を毎秒3000A/mの大きさに磁界を減少させ、さらに逆方向に磁界を印加して磁気飽和に至らせる過程において、磁化の磁界による微分値が少なくとも2つ以上のピークを持ち、該ピークを与える磁界が全て最後に磁気飽和させた磁界の方向であることを特徴とする請求項1記載の磁気記録媒体。

【請求項10】非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体において、135ケルビンにて、トラック方向に磁界を印加して磁気飽和させた後、磁界を毎秒3000A/mの大きさに磁界を減少させ、さらに逆方向に磁界を印加して磁気飽和に至らせる過程において、磁化の磁界による微分値が少なくとも2つ以上のピークを持ち、該ピークを与える磁界のうち、少なくとも1つは最後に磁気飽和させた磁界の逆方向であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項11】非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体であって、基板に近い側の磁性層の飽和磁化が、基板から遠い側の磁性層の飽和磁化に比べて大きいことを特徴とする請求項1記載の磁気記録媒体。

【請求項12】上記基板に近い側の磁性層としてCoまたはCoを主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pdの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金、好ましくは加えてB(ボロン)を含むことを特徴とする請求項11に記載の磁気記録媒体。

【請求項13】上記非磁性中間層が、Ru、Ir、Rh、Re、Cu、Cr、Alからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む合金、またはRu、Ir、Rhの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素とPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素との合計が50at%以上である合金であることを特徴とする請求項1記載の磁気記録媒体。

【請求項14】上記非磁性中間層をRFスパッタ法で作成することを特徴とする請求項13に記載の磁気記録媒体。

【請求項15】上記基板から遠い側の磁性層がCo、Fe、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む結晶質磁性体を含み、更に、上記基板に近い側の磁性層がCr、Mo、W、Ta、V、Nb、Ta、Ti、Ge、Si、Co、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素を50at%以上含む非磁性下地膜上に形成されたことを特徴とする請求項1記載の磁気記録媒体。

【請求項16】巨大磁気抵抗効果素子あるいは、磁気抵抗効果を示すトンネル接合膜を用い、実効トラック幅が0.5 $\mu$ m以下である再生素子を有する磁気ヘッドと請求項1記載の磁気記録媒体とを組み合わせて磁気情報の再生を行うことを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項17】記録部に、飽和磁束密度が1.8T以上の磁極を用いたヘッドを用いることを特徴とする請求項16記載の磁気記憶装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子計算機及び情報処理装置等に用いられる磁気ディスク装置、ディジタ

ルVTR等の情報家電用の磁気記憶装置及びその磁気記録媒体に係り、特に、高密度記録を実現する上で好適な磁気記録媒体およびこれを用いた磁気記憶装置に関する。

#### 【0002】

【従来の技術】情報機器の記憶（記録）装置には、半導体メモリと磁性体メモリ等が用いられる。高速アクセス性の観点から内部記憶装置には半導体メモリが用いられ、大容量・低コストかつ不揮発性の観点から外部記録装置として磁性体メモリが用いられている。磁性体メモリの主流は、磁気ディスク装置、及び磁気テープ、磁気カード装置である。磁気ディスク、磁気テープや磁気カードといった記録媒体に磁気情報を書き込むため、強磁界を発生する磁気記録部が用いられる。更に、高密度で記録された磁気情報を再生するため、磁気抵抗現象ないしは、電磁誘導現象を利用した再生部が用いられる。最近では、巨大磁気抵抗効果、トンネル型磁気抵抗効果も検討され始めている。これら機能部は、磁気ヘッドと呼ばれる入出力用部品に共に設けられている。図10に磁気ディスク装置の基本構成を示す。同図(a)は、装置の平面図、(b)は(a)に示されたA-A'での断面図を示す。記録媒体101は、回転軸受け104に固定され、モータ100により回転する。図10では5枚の磁気ディスク、10本の磁気ヘッドを搭載した例において、磁気ディスク3枚分と磁気ヘッド4本について示したが、磁気ディスク1枚以上、磁気ヘッド1本以上であれば良い。磁気ヘッド102は、回転する記録媒体面上を移動する。磁気ヘッドは、アーム105を介してロータリアクチュエータ103に支持される。サスペンション106は、磁気ヘッド102を記録媒体101に所定の荷重で押しつける機能を有する。再生信号の処理及び情報の入出力には、所定の電気回路が必要である。最近では、PRML(Partial Response Maximum Likelihood)、あるいはこれをエンハンスしたEPRML(Extended PRML)と言った、高密度化時の波形干渉を積極的に活用した信号処理回路が導入され、高密度化に大きく寄与している。これらは、ケース108等に取り付けられる。磁気ヘッドに搭載される情報の書き込み及び再生機能部は、例えば図11に示す構造から構成される。書き込み部111は、渦巻き型コイル116とこれを上下に包みかつ磁氣的に結合された磁極117と磁極118から構成される。磁極117と磁極118は、共に磁性膜パターンから構成される。再生部112は、磁気抵抗効果素子113と同素子に定電流を流し、かつ抵抗変化を検出するための電極119から構成される。これら書き込み部と再生部の間には、磁気的なシールド層を兼ねる磁極118が設けられている。磁気抵抗効果素子113の下層にはさらにシールド層115が設けられている。再生分解能は、このシールド層115と磁極(シールド層兼用)118との間隙長が短いほど大きくなる。以上の機能部は、

上記磁気ヘッドスライダ1110上に形成されている。

#### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】磁気記録ディスク装置を大容量化するには、図10の記録媒体101に記録される磁化情報を高密度化すればよい。しかし、従来用いられている磁気記録媒体は微小な結晶粒子で構成されているため、高記録密度化に伴い1ビットあたり粒子数が少なくなりノイズが大きくなるという問題があった。これに対し、磁性粒子径を小さくし、磁性粒界での非磁性成分の偏析を促進して磁性粒子間の相互作用を小さくすることでノイズ低減を図って来ている。ところが、最近の年率50%以上の効率でさらに記録密度を高め15Gb/in<sup>2</sup>程度以上の面記録密度で記録再生しようとする、磁性粒子の体積が小さくなるのに伴い、熱揺らぎによる記録磁化の減衰(熱減磁)が深刻な問題となっている。これは、媒体を構成する粒子の磁化が熱で反転させられる現象で、ノイズ低減のために粒子の径を小さくすると顕著になる。このため、岩崎らによって提案された垂直磁気記録法では、この熱揺らぎの影響が緩和されることが期待されている。また2000年のIntermag国際会議では、熱減磁抑制対策として富士通、IBMより、磁性層がRuを介して反強磁性的に結合した面内媒体(AFC媒体と呼ぶ)が提案された。この新しく提案された媒体は、書き込み磁界が大きくなってしまい、熱減磁抑制メリットが相殺されてしまう可能性が高いと考えられていた。ここで、図3を用いて本発明のベースとなる反強磁性結合(AFC)媒体について説明する。図3は媒体の断面構造を概念的に示したものである。非磁性基板15上に形成された下層磁性層12、さらに非磁性中間層13を介して形成された記録磁性層11からなる。非磁性中間層13としてRuを用いると、記録磁性層11と下層磁性層12との間に交換相互作用が働くようになる。このときの結合エネルギーJは、Ru非磁性中間層13の厚さに対して図4に示すような振動的な変化をする。記録磁性層11の磁化方向と下層磁性層12の磁化方向は、交換結合エネルギーJが負の値をとるときには反平行に、交換結合エネルギーJが正の値をとるときには平行に配置するような交換相互作用が働く。そこでRu非磁性中間層13の厚さを負値のピークの厚さに設定することにより、記録磁性層11の磁化と下層磁性層12の磁化とを反強磁性的(反平行)に結合させることが可能となる。記録磁性層11の膜厚と残留磁化の積は、下層磁性層12の膜厚と残留磁化の積より大きく採るものとする。簡単のために、記録磁性層11と下層磁性層12の飽和磁化Ms、磁気異方性エネルギーKuを同じと仮定し、記録磁性層11の粒子体積をv1、下層磁性層12の粒子体積をv2とする。反強磁性相互作用が十分強い場合には、大きいほど耐熱揺らぎ性が向上する指標となる $K\beta (=Ku \cdot v / (k \cdot T))$ 、k:ボルツマン定数、T:絶対温度)値が $Ku(v1 + v2) / (k \cdot T)$ となり、記録磁性層11単独の $(Ku \cdot v1) / (k \cdot T)$ に比べ

て、下層磁性層12の持つ $K\beta$ 値 $((K_u \cdot v_2)/(k \cdot T))$ だけ大きくなり、熱的に安定となる。ところが、記録磁性層11の磁化と下層磁性層12の磁化とが反平行であるため、全体の飽和磁化が実効的に減少して $M_s(v_1 - v_2)/v_1$ となるため、磁化を反転させる磁界を決定する系の実効的な異方性磁界 $(2 \cdot K_u/M_s)$ は、 $(2 \cdot K_u/M_s) \cdot (v_1 + v_2)/(v_1 - v_2)$ となる。したがって熱的安定性を得ようとして $v_2$ を大きくすればする程、磁化の反転磁界が大きくなることが理解される。しかし、2001年のIntermag国際会議では、反強磁性結合があまり大きくないAFC媒体では書き込み磁界が大きくなることが報告された。この場合、媒体の実効的な $K\beta$ 値は記録磁性層の $K\beta$ 値にほぼ一致する。ただし、上下層の磁気特性がほぼ等しいこのAFC媒体では、 $R/W$ 特性が劣化しており、同等の $R/W$ 特性を得るために全体の膜厚を薄くすると熱減磁特性の改善効果は極めて小さくなり、熱揺らぎ特性と $R/W$ 特性の両立が困難であった。反強磁性結合があまり大きくないAFC媒体では、書き込み時に記録磁性層11の磁化と下層磁性層12の磁化とが平行になっているモデルが報告されている。本発明の目的は、高分解能、低ノイズ、かつ熱揺らぎの小さな高密度磁気記録に好適な磁気記録媒体、及びこの媒体等を用いた場合に実現される大容量磁気記憶装置を提供することにある。

#### 【0004】

【課題を解決するための手段】上記目的を実現するため、媒体構造、材料、プロセス、及びヘッド等の装置関係技術に付いて鋭意検討を進め、下記の手段が極めて効果が高いことを発見した。本媒体特性の理解には、書き込み後の再配列過程が重要である。書き込み直後に記録磁性層11の磁化と、ほぼ平行であった下層磁性層12の磁化とが熱揺らぎの影響で反転し、反平行になる過程である。熱揺らぎによる反転は確率過程であって、ほとんどの粒子が再配列を完了し、上下層で反平行な磁化の対となるには有限な時間を要する。再配列が未完の場合には、残留磁化が大きすぎて再生分解能が劣化し、熱減磁も大きくなる。AFC媒体とこれに記録する磁気ヘッドの相対的な移動方向であるトラック方向は、通常の面内記録においては、概磁化が記録される方向である。このトラック方向に磁界を印加して磁気飽和させた後、磁界を減少させ、さらにこのトラックの逆方向に磁界を印加して磁気飽和に至らせる過程(M-Hループ)においては、積層された磁性層の各層ごとの磁化が異なる磁界で反転するのが観察される。図5(a)は、毎秒300A/mの大きさを磁界を減少させて測定した磁性層2層からなるAFC媒体のM-Hループの一例を示したものである。図の横軸を磁界軸とし、トラック方向を正として示した。図では、逆方向に磁界を印加して磁気飽和に至らせる後、磁界を大きくしてトラック方向の大きな磁界で再再度磁気飽和に達するまでの過程を点線で示してある。プラスの大きな磁界からマイナスの大きな磁界へ変化する間に大

きく2回に分けて変化しているのが分かる。1つ目の変化は、プラスの小さな磁界で発生しており、磁化の変化量が他方の磁化変化量に比べて小さいことから下層磁性層の磁化反転に対応していると考えられる。マイナスの大きな磁界における磁化の変化は、記録磁性層の磁化反転に対応する。図5(b)は、図5(a)の実線のM-Hループを磁界によって微分したものである。図5(b)では、それぞれの磁化反転に対応したピークが見られる。図5の例では、磁界が0の残留状態のとき、下層磁性層の磁化反転に伴う磁化の変化は消失しており、再配列が完了していると考えられる。図6(a)、(b)は、図5と同じAFC媒体を毎秒3000A/mの大きさを磁界を減少させて測定したM-Hループとその磁界微分を示したものである。図6では、下層磁性層の磁化反転する磁界がほぼ0へと移動しているのが分かる。これは磁界の変化が大きかったために下層磁性層が磁化反転するタイミングが遅れたためと考えられる。これに対して記録磁性層の磁化反転する磁界は余り大きな変化が見られない。この原因は、下層磁性層の磁化反転が熱揺らぎによって確率的に起っているとすると理解しやすい。実際、毎秒300A/mの磁界減少でも測定温度を約60度下げることにより、図6とほぼ同じM-Hループが得られた。図6では、磁界が0の残留状態のとき、下層磁性層の磁化反転は、まだ半分しか終わっていない。この状態では、残留磁化が大きく、さらに時間変化する。図6の測定よりもさらに大きな磁界変化、またはより低温での測定では、下層磁性層の磁化反転する磁界がマイナスの値へと移動する。以上のことから、1) AFC媒体のM-Hループまたはその磁界微分を調べることにより、再配列の状況が把握できること、2) M-Hループ測定時の磁界掃引速度を一定としても、磁界掃引速度を変えた場合とほぼ等価な測定温度が存在すること、が判明した。磁気ディスク装置において書き込み直後にディスクが1回転し、読み取り動作に入るまでの時間を約10ミリ秒と考え、この時間までに下層磁性層の磁化反転が終わり再配列が完了する条件につき種々のAFC媒体において検討したところ、毎秒3000A/mの大きさを磁界を変化させる場合には、135ケルビンにてM-Hループ測定をし、その磁界微分を取ったとき、下層磁性層の磁化反転に対応するピークを与える磁界が0またはプラスの値であれば良いことが分かった。磁界掃引速度を速める場合には、1桁あたり約30度高い温度で測定すれば良い。以上のように、AFC媒体を活用して大容量磁気記憶装置を実現するには、従来媒体で考慮されていた記録、再生過程と耐熱特性に加えて再配列過程を制御する必要がある。非磁性基板上に形成された少なくとも2層の磁性層と、該磁性層に挟まれ、該磁性層の磁化を反平行ならしめる非磁性中間層とを有する薄膜型磁気記録媒体は、AFC媒体の構成を示すものである。基板に近い側の磁性層を下層磁性層、基板から遠い側の磁性層を記録磁性層とする。記録磁性層の膜厚とそ

の残留磁化の積は、下層磁性層の膜厚と残留磁化の積より大きく採るものとする。各磁性層の残留磁化の大きさは、図5で示した各磁性層に対応する磁化の変化量の半分の値として良い。記録磁性層の膜厚とその残留磁化の積から下層磁性層の膜厚と残留磁化の積を引いた値を記録磁性層の残留磁化で除したものは、長さの次元を持ち、AFC媒体の実効膜厚として単層媒体との比較に用いる場合が多い。実効膜厚の大きさは、残留磁化量および再生ヘッドの感度とトラック幅とによって決定される。非磁性基板には、ガラス、NiPメッキAl、セラミックス、Si、プラスチック等からなる3.5、2.5、1.8、1径等の円盤状もしくはテープ、カードの形状をしており、さらに表面にCr、Mo、W、Ta、V、Nb、Ti、Ge、Si、Co、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素を50%以上含む、Cr、Mo、W、CrMo、CrTi、CrCo、NiCr、Ta、CoCr、Ta、TiCr、C、Ge、TiNb、非磁性CoCr/CrTi積層下地、非磁性CoCrTa/CrTi/Cr積層下地等の非磁性層を形成させることにより、下層磁性層、記録磁性層の結晶粒径、配向性等が制御できる。表面の非磁性層を多層化することは、制御の自由度が増え、特に熱揺らぎの低減等での見地で、更に好ましい。記録磁性層には通常磁気記録媒体として用いている、Co-Cr-Pt、Co-Cr-Pt、Co-Pt、Fe-Co-Ni合金等のCo、Fe、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む結晶質磁性体を用いればよい。ただし、従来の単層磁性層媒体より厚めに作成する必要があるため、粒径の拡大を抑制し、粒内の交換相互作用を下げない配慮が必要となる。下層磁性層の膜厚と残留磁化の積を一定に保つ場合、下層磁性層の飽和磁化が大きいほど、下層磁性層の膜厚を小さくすることができるため、以下に詳しく述べる記録過程における遷移幅の短縮に大きく寄与する。下層磁性層としてCo またはCo を主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pdの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金を用いることにより、記録磁性層と同じ結晶構造と必要な磁気異方性を持つ磁性層が形成可能となる。下層磁性層にB(ボロン)が含まれていると、磁性粒径が小さくなりノイズ低減効果が顕著となる。非磁性中間層にはRuの他、Ir、Rh、Re、Cu、Crを用いると隣接する磁性膜間を反強磁性的に結合させることができる。Ruは、公知例にもあるように反強磁性結合磁界を大きくすることができると考えられている。ただしRuは白金族元素のためPtとの親和性が高いので、磁性膜としてCoCrPt、CoCrPtB等のPtを含む合金を用いる場合には大きな反強磁性結合磁界が得られない場合がある。反強磁性結合磁界を制御するには、磁性膜中のPt組成や、磁性膜の非磁性中間層と接する界面のPt組成を変える必要がある。また磁性膜として飽和磁化の大きな材料を用いるのも反強磁性結合磁界を大きくするのに有効である。反強磁性結合磁界は、磁性材料と非磁性中間層との界面状態に敏感なため、膜の作成条件にも大きく作用される。特にRFスパッタ

法では大きな反強磁性結合磁界が得られる。DCスパッタ法では得られる反強磁性結合磁界はRFスパッタ法の1/3程度であるが、MBE法よりも倍大きい。中間層の作成には、必要な結合磁界が得られる方式を用いるのが良い。非磁性中間層としてIr、Rh、Reを用いる場合は、Ruと比べて多少反強磁性結合磁界が小さいが、安価に得られるため大量生産に向いている。Ir、Rhは白金族元素のため、CoCrPt、CoCrPtB等のPtを含む合金を用いる場合には、反強磁性結合磁界を制御するために、磁性膜中のPt組成や、磁性膜の非磁性中間層と接する界面のPt組成を変える必要がある。Rh、Cuは、延性、展性に富む金属であり、反強磁性結合磁界が最大になる厚さもRu、Ir、Reの約倍の0.8nm程度であるため、厚さむら、ピンホール等による反強磁性結合磁界のディスク面内のバラツキが小さく、磁気特性のそろった良質の媒体が得られる。また、Ru、Ir、Reは、反強磁性結合磁界が得られる膜厚の範囲がその平均に比べて広いので、工程管理的に優れている。非磁性中間層としてCu、Crを用いる場合は、Co合金磁性膜との格子整合性が良いので記録磁性層の結晶性、配向性が向上する。Crを用いる場合には、接する磁性膜、または磁性膜の表面にFeが含まれていると大きな反強磁性結合磁界が得られて良い。弱結合AFC媒体の非磁性中間層には、Ru、Ir、Rh、Re、Cu、Crもしくは、Ru、Ir、Rh、Re、Cu、Crの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素を50at%以上含んだ合金を用いると良い。特に、Ru、Ir、Rhの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素とPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素を含む合金を用いると、組成比制御によって反強磁性結合エネルギーを0～5mJ/m<sup>2</sup>の広い範囲で自由かつ安定に制御することが可能となる。これは、Pt、Pdに反強磁性結合作用が無く(J=0)、Ru、Ir、Rh、Pt、Pdが同じ白金族元素なので親和性が高いので、合金の構成元素が微小領域でも均一に混ざり合っているためである。強い結合AFC媒体の非磁性中間層には、Ru、Ir、Rh、Crもしくは、Ru、Ir、Rh、Crの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素を含んだ合金を用いると良い。Crを用いる場合には、接する磁性膜、または磁性膜の表面にFeが含まれていると大きな反強磁性結合磁界が得られて良い。AFC媒体における各磁性層の磁気異方性磁界の測定には、強磁性共鳴法を用いるのが良い。磁界を膜面垂直に印加することにより、面内に磁気異方性軸を持つ媒体の異方性磁界H<sub>k</sub>が測定可能となる(J. Appl. Phys., Vol. 85, No. 8, 4720(1999)). 共鳴周波数をf、磁気回転比をγ、磁性層の飽和磁束密度をB<sub>s</sub>、とすると、式
$$(2\pi f/\gamma)^2 = (H_r - B_s)(H_r - B_s - H_k)$$
で与えられる共鳴磁界H<sub>r</sub>が各磁性層のH<sub>k</sub>に対応してえられる。磁気力顕微鏡(MFM)により、孤立遷移の磁化遷移幅を観察すると、AFC媒体の下層磁性層の磁気異方性磁界H<sub>kB</sub>と、記録磁性層の磁気異方性磁界H<sub>kA</sub>との比H<sub>kB</sub>/H<sub>kA</sub>に応じて磁化遷移幅が変化する。単層面内媒体との



比較により、比 $H_{KB}/H_{KA}$ が0.7を越えると、記録磁性層と同じ膜厚の単層面内媒体より広い磁化遷移幅となり好ましくない。さらに、比 $H_{KB}/H_{KA}$ が0.4以上0.65以下であれば実効膜厚が同等の単層面内媒体と同程度の急峻な磁化遷移幅が得られる。図6の磁化曲線において下層磁性層の反転が終わった段階(磁界)で磁界の変化の向きを逆転させ、マイナーループを形成したのが、図7である。下層磁性層がヒステリシスを持っているのが分かる。このマイナーループは、プラスの磁界方向にシフトしており、マイナーループ中心磁界を通常、反強磁性結合磁界 $H_{exB}$ と呼んでいる。記録磁性層と下層磁性層の反強磁性的交換相互作用の大きさ $J$ は、 $H_{exB}/(M_sB+tB)$ で見積もられる。ただし、 $M_sB$ 、 $tB$ は、下層磁性層の飽和磁化と膜厚である。また、このマイナーループの磁界方向の差し渡しの半値は、下層磁性層の保磁力と考えられる。メジャーの磁界方向の差し渡しの半値は、記録磁性層の保磁力である。下層磁性層は記録磁性層に比べて熱揺らぎが大きく、測定温度が変わると保磁力が大きく変化する。図8は、記録磁性層、下層磁性層の保磁力の温度変化を示したものである。これらは、概直線的に推移しており、200ケルビンおよび100ケルビンにおける保磁力を直線で結ぶとほぼ絶対0度になる。本測定においては、磁界掃引速度によって200ケルビンおよび100ケルビンにおける保磁力値は変化するが、絶対0度における推定値は変わらない。この推定値は、上記異方性磁界に対してほぼ40%の値となっていた。記録磁性層の絶対温度零度における保磁力 $H_{coA}$ と、下層磁性層の絶対温度零度における保磁力 $H_{coB}$ との比 $H_{co2}/H_{co1}$ に対する磁化遷移幅の挙動は、磁気異方性の比 $H_{KB}/H_{KA}$ と同様である。磁化遷移幅の改善効果のメカニズムを調べるため、マイクロ磁気シミュレーションを行った。改善効果が大きい場合には、磁気異方性の小さな下層磁性層に形成される磁化遷移の位置が、記録磁性層の遷移位置よりヘッド後方に形成されており、下層磁性層の磁化遷移からの磁界によって、記録磁性層の遷移位置のヘッド磁界が変調を受け磁界勾配 $dH/dx$ が急峻化されていることが判明した。記録磁性層の遷移位置と下層磁性層の遷移位置との差が磁化遷移幅以上に近づくと、この効果は急速に消失する。値 $(H_{coA}H_{coB})/(\pi a \times dH/dx)$ が0.8より小さい場合には、下層磁性層の磁化遷移からの磁界が逆に作用するようになり、磁化遷移幅は急速に増大する。値 $(H_{coA}H_{coB})/(\pi a \times dH/dx)$ が0.9以上1.5以下であれば、十分なヘッド磁界磁界勾配の急峻化が得られる。値 $(H_{coA}H_{coB})/(\pi a \times dH/dx)$ が1.5を越える場合には記録磁性層の遷移位置と下層磁性層の遷移位置との差が大きすぎてヘッド磁界がほとんど変らない。磁気異方性エネルギー $K_u$ は、関係式 $H_k=2K_u/M_s$ から算出するか、残留保磁力のパルス時間依存性をVSM測定や逆DC消磁法より求めSharockの式にフィッティングして求めた $K\beta$ 値から関係式 $K\beta=K_u \times v/(kT)$ を使って算出す

ればよい。下層磁性層の磁気異方性エネルギー $K_uB$ と、記録磁性層の磁気異方性エネルギー $K_uA$ との比 $K_uB/K_uA$ が0.7を越えると分解能が記録磁性層単独の磁性層からなる従来媒体より悪くなる。比 $K_uB/K_uA$ が0.4以上0.65以下であると実効膜厚と同程度の従来媒体並みの分解能が得られる。このときのAFC媒体の $K\beta$ 値は、実効膜厚と同程度の従来媒体に比べて30%以上大きくできる。以上のような磁気異方性の最適化によるAFC媒体のR/W特性の向上は、弱い反強磁性的結合による記録磁性層、下層磁性層の平行配置を前提としており、数ナノ秒で再配列が完了してしまう状況では十分な改善効果が得られない。30ケルビンにて、磁界を毎秒3000A/mの大きさと磁界を減少させ、測定されたM-Hループを磁界で微分してピークを求めたとき、下層磁性層の磁化反転に対応するピークがマイナスの値を持つ必要がある。記録された情報の再生には、巨大磁気抵抗効果素子あるいは、磁気抵抗効果を示すトンネル接合膜を用い、実効トラック幅が0.5 $\mu m$ 以下である再生素子を有する磁気ヘッドとを組み合わせる磁気情報の再生を行う事で、信号処理方式の助けを借りて、装置動作に必要な20dB以上の装置S/Nが得られ、EPRMLやEEPRML、トレリス符号、ECC等と組み合わせる事で面記録密度40 Gb/in<sup>2</sup>以上で記録再生する事が出来る。記録部に、飽和磁束密度が1.8T以上の磁極を用いたヘッドを用いることで、より大きな磁気異方性を有する記録磁性層材料が使えるようになるので好ましい。ここで、巨大磁気抵抗効果素子(GMR)、及びトンネル型磁気ヘッドについては、特開昭61-097906、特開平02-61572、特開平04-358310、特開平07-333015、及び特開平02-148643、02-218904号各公報に記載されている技術であり、KRFステップによるリソグラフィ、もしくはFIB加工技術等を駆使して実効トラック幅が0.5 $\mu m$ 以下を実現した。

#### 【0005】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の内容を実施例および比較例によって詳細に説明する。

(実施例)図2を用いて本発明の第1の実施例を述べる。図は、本発明を実施した磁気ディスクの概念図である。14はガラス、NiPメッキAl、セラミックス、Si、プラスチック等からなり、3.5、2.5、1.8、1径等の円盤状もしくはテープ、カード上の非磁性基板、記録磁性層11はCo、Fe、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む、CoCrPt、CoCrTa、CoNiPt、CoPt-SiO<sub>2</sub>、FeNiCo、CoFeTa、NiTa、CoW、CoNb、GdFeCo、GdTbFeCo、Fe-N、Co-CoO等の結晶質磁性体、下層磁性層12は、非磁性下地層はCr、Mo、W、Ta、V、Nb、Ta、Ti、Ge、Si、Co、Niからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素を50%以上含む、Cr、Mo、W、CrMo、CrTi、CrCo、NiCr、Ta、CoCr、Ta、TiCr、C、Ge、TiNb等の非磁性下地層、及び、Co、Fe、Niからなる群から選ばれ

た少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む、CoCrPt、CoCrTa、CoNiPt、CoPt-SiO<sub>2</sub>、FeNiCo、CoFeTa、NiTa、CoW、CoNb、GdFeCo、GdTbFeCo、Fe-N、Co-CoO等の結晶質磁性体を含み、16はN添加C、H添加C、BN、ZrNbN等の保護膜、17はOH、NH<sub>2</sub>等の吸着性、もしくは反応性の末端基を有するパーフルオロアルキルポリエーテル、金属脂肪酸等の潤滑剤である。非磁性中間層13はRu、Ir、Rh、Re、Cu、Cr、Alからなる群から選ばれた少なくとも1種の金属元素を50at%以上含む合金、またはRu、Ir、Rhの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素とPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素との合計が50at%以上である合金である。下層磁性層12と非磁性下地15との間には、更に組成を調整した、より磁性膜との格子常数のマッチングがとりやすい第2の非磁性下地層を設けても良い。また、いずれかまたは両方の磁性層と非磁性中間層の間にPt組成の低い材料を用いると反強磁性結合が安定化し、飽和磁化の大きな材料を用いると結合が強くなる。下層磁性層としてCoまたはCoを主成分とし、Fe、Ni、Cr、Ta、Pt、Pdの中から選ばれた少なくとも1種の元素を含む合金を用いることにより、記録磁性層と同じ結晶構造と必要な磁気異方性を持つ磁性層が形成可能となる。下層磁性層にB(ボロン)が含まれていると、磁性粒径が小さくなりノイズ低減効果が顕著となる。ここで、下地膜、磁性層、非磁性中間層は、ともに基板14上に、低圧のArガスを用い、なお、本設備では、下地と磁性膜とで独立にパラメータを変えられる様にしてある。この際、本設備では、Ar圧力は1-10mTorr、基板温度は100-300℃、製膜速度0.1-1nm/sとした。下地層にはCr、Ta、Nb、V、Si、Geの他に、Co<sub>60</sub>Cr<sub>40</sub>、Mo<sub>90</sub>-Cr<sub>10</sub>、Ta<sub>90</sub>-Cr<sub>10</sub>、Ni<sub>50</sub>Cr<sub>50</sub>、Cr<sub>90</sub>-V<sub>10</sub>、Cr<sub>90</sub>-Ti<sub>10</sub>、Ti<sub>95</sub>-Cr<sub>5</sub>、Ti-Ta<sub>15</sub>、Ti-Nb<sub>15</sub>、TiPd<sub>20</sub>、TiPt<sub>15</sub>等の合金を単層ないしは異種の金属層からなる2層として用い、下地組成の異なる試料を用意した。下地層の総膜厚は10から100nm、CoCrPtないしはCoCrPt(Ta、V)等の磁性層は10から100nm、保護層は10nmである。記録磁性層のCo合金系磁性層のCr含量は19から23原子パーセント、Pt含量は4から20原子パーセント、V、Ta含量は2から5原子パーセントとした。記録磁性層の膜厚、飽和磁化、異方性磁界はそれぞれ12-22nm, 0.3-0.7T, 500-1200kA/mで変化させた。下層磁性層の膜厚、飽和磁化、異方性磁界はそれぞれ1-8nm, 0.3-1.5T, 100-1200kA/mで変化させた。非磁性中間層にはRuの他、Ir、Rh、Re、Cu、Crを用いると隣接する磁性膜間を反強磁性的に結合させることができる。Ruは、公知例にもあるように反強磁性結合磁界を大きくすることができると考えられている。ただしRuは白金族元素のためPtとの親和性が高いので、磁性膜としてCoCrPt、CoCrPtB等のPtを含む合金を用いる場合には大きな反強磁性結合磁界が得られない場合がある。反強磁性結合磁界を制御するには、磁性膜中のPt組成や、磁性膜の非磁性中間層と接する界

面のPt組成を変える必要がある。また磁性膜として飽和磁化の大きな材料を用いるのも反強磁性結合磁界を大きくするのに有効である。反強磁性結合磁界は、磁性材料と非磁性中間層との界面状態に敏感なため、膜の作成条件にも大きく作用される。特にRFスパッタ法では大きな反強磁性結合磁界が得られる。DCスパッタ法では得られる反強磁性結合磁界はRFスパッタ法の1/3程度であるが、MBE法よりも倍大きい。中間層の作成には、必要な結合磁界が得られる方式を用いるのが良い。非磁性中間層としてIr、Rh、Reを用いる場合は、Ruと比べて多少反強磁性結合磁界が小さいが、安価に得られるため大量生産に向いている。Ir、Rhは白金族元素のため、CoCrPt、CoCrPtB等のPtを含む合金を用いる場合には、反強磁性結合磁界を制御するために、磁性膜中のPt組成や、磁性膜の非磁性中間層と接する界面のPt組成を変える必要がある。Rh、Cuは、延性、展性に富む金属であり、反強磁性結合磁界が最大になる厚さもRu、Ir、Reの約倍の0.8nm程度であるため、厚さむら、ピンホール等による反強磁性結合磁界のディスク面内のバラツキが小さく、磁気特性のそろった良質の媒体が得られる。また、Ru、Ir、Reは、反強磁性結合磁界が得られる膜厚の範囲がその平均に比べて広いので、工程管理的に優れている。非磁性中間層としてCu、Crを用いる場合は、Co合金磁性膜との格子整合性が良いので記録磁性層の結晶性、配向性が向上する。Crを用いる場合には、接する磁性膜、または磁性膜の表面にFeが含まれていると大きな反強磁性結合磁界が得られて良い。弱結合AFC媒体の非磁性中間層には、Ru、Ir、Rh、Re、Cu、Crもしくは、Ru、Ir、Rh、Re、Cu、Crの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素を50at%以上含んだ合金を用いると良い。特に、Ru、Ir、Rhの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素とPt、Pdから選ばれた少なくとも1種類以上の元素を含む合金を用いると、組成比制御によって反強磁性結合エネルギーを0~5mJ/m<sup>2</sup>の広い範囲で自由かつ安定に制御することが可能となる。これは、Pt、Pdに反強磁性結合作用が無く(J=0)、Ru、Ir、Rh、Pt、Pdが同じ白金族元素なので親和性が高いので、合金の構成元素が微小領域でも均一に混ざり合っているためである。強い結合AFC媒体の非磁性中間層には、Ru、Ir、Rh、Crもしくは、Ru、Ir、Rh、Crの中から選ばれた少なくとも1種類以上の元素を含んだ合金を用いると良い。Crを用いる場合には、接する磁性膜、または磁性膜の表面にFeが含まれていると大きな反強磁性結合磁界が得られて良い。上記媒体を、飽和磁束密度1.5Tの45Ni-55FeをFIB(Focused Ion Beam)加工技術によりトラック幅0.5μmの磁極材とし、記録ギャップ長0.25μm(ギャップ材:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)とした記録部と、NiFe/Co(4nm)、Cu(2.5nm)、固定層CoFe(3nm)、CrMnPt(20nm)を順次積層し、矩形状にパターン化した後に、その両端部に、Co<sub>80</sub>-Cr<sub>15</sub>-Pt<sub>5</sub>(10nm)/Cr(10nm)永久磁石およびTa電極膜(100nm)を配置し、

KrFステツパリソグラフィ技術により電極で規定したトラック幅を $0.4\mu\text{m}$ とした巨大磁気抵抗効果素子を $2\mu\text{m}$ のNi80-Fe20シールド膜で挟んだ構造(シールド間隔:  $0.2\mu\text{m}$ 、ギャップ材: Al2O3)の再生部とを有する磁気ヘッド素子を、Al2O3-TiC製の大きさの $1.0\times 0.8\times 0.2\text{mm}^3$ のスライダに形成した磁気ヘッドを用い、図10に示す本発明の磁気ディスク装置に実装して評価した。孤立遷移の出力に対する450kFCIにおける再生出力の割合である分解能は、下層磁性層の磁気異方性エネルギー $K_{\text{uB}}$ と、記録磁性層の磁気異方性エネルギー $K_{\text{uA}}$ との比 $K_{\text{uB}}/K_{\text{uA}}$ に対して図9のような関係が得られた。比 $K_{\text{uB}}/K_{\text{uA}}$ が0.7を超えると分解能が記録磁性層単独の磁性層からなる従来媒体より悪くなる。比 $K_{\text{uB}}/K_{\text{uA}}$ が0.4以上0.65以下であると実効膜厚と同程度の従来媒体並みの分解能が得られる。このときのAFC媒体の $K\beta$ 値は、実効膜厚と同程度の従来媒体に比べて30%以上大きくできる。135ケルビンにおける磁化曲線の測定で下層下地層の反転がマイナスの磁界に現れたばいたいは、分解能が60%未満となった。記録されたディスクを再び取り出し、磁気力顕微鏡(MFM)により、孤立遷移の磁化遷移幅を観察すると、AFC媒体の下層磁性層の磁気異方性磁界 $H_{\text{KB}}$ と、記録磁性層の磁気異方性磁界 $H_{\text{KA}}$ との比 $H_{\text{KB}}/H_{\text{KA}}$ に応じて磁化遷移幅が変化する様子が図1のように得られた。単層面内媒体との比較により、比 $H_{\text{KB}}/H_{\text{KA}}$ が0.7を超えると、記録磁性層と同じ膜厚の単層面内媒体より広い磁化遷移幅となり好ましくない。さらに、比 $H_{\text{KB}}/H_{\text{KA}}$ が0.4以上0.65以下であれば実効膜厚が同等の単層面内媒体と同程度の急峻な磁化遷移幅が得られる。30ケルビンの磁化曲線評価においても再配列が発生するような場合では、磁化遷移幅は、従来媒体レベルに留まった。なおスライダは微小突起を3ヶ所設けた負圧型とし、浮上面にはC-H保護膜を設けたもので、また図10(a)は、装置の平面図、(b)は断面図である。再生信号の処理及び情報の入出力には、従来技術と同じ所定の電気回路が必要である。ここでは、EPRML(Extended Partial Response Maximum Likelihood)をエンハンスし、ECC機能を強化したMEEPRML(Modified PRML)と言う、高密度化時の波形干渉を積極的に活用した信号処理回路を導入した。なお、記録磁極を従来の1T(80Ni-20Fe組成)、1.3T(FeTaC)、1.7T(FeNiN)としたヘッドでも評価したが、1T、1.3Tでは重ね書き特性が20dBと低く、十分な急峻な記録が行えず、ノイズも極めて大きく実用に堪えず、1.5T、1.7Tの場合にだけ良好な記録を確認できた。以上から1.5T以上は必要である事がわかった。更に特開平02-148643、02-218904号各公報に記載された技術により試作した、再生トラック幅 $0.4\mu\text{m}$ のトンネル型磁気ヘッドで特性を評価した場合には全く同様の結果が得られたが、同じトラック幅の従来型MRヘッドでは、十分な再生感度が得られず、評価に堪えなかった。以上述べた実施例は、本発明

で開示する類似の発明を代表するものであり、本発明から同業者が容易に類推できる例においても本発明の範囲に入るものである。例えば、RFマグネトロンスパッタ法、ECRスパッタ法、ヘリコンスパッタ法等でも同様の効果が得られる。また、本発明で開示する磁気記録媒体によれば15Gb/in<sup>2</sup>以上の記録密度での記録再生が初めて可能となる。したがって、本発明の磁気記録媒体で可能となる磁気テープ、磁気カード、光磁気ディスク等を用いた磁気記録再生装置についても本発明の範囲にはいる。以上、本発明の磁気記録媒体、磁気記録再生装置を用いることにより高速かつ大容量の記録再生が初めて可能となる。これにより、商品競争力の極めて強い磁気記録再生装置を実現できる。

#### 【0006】

【発明の効果】本発明の磁気記録媒体、磁気記録再生装置を用いることにより高速かつ大容量の記録再生が実現できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の効果を示す主要図。

【図2】本発明の磁気記録媒体の主要部概念図。

【図3】AFC媒体の概念図。

【図4】反強磁性結合の概念図。

【図5】本発明の磁気記録媒体の磁化曲線を示す図。

【図6】本発明の磁気記録媒体の別の磁化曲線を示す図。

【図7】本発明の磁気記録媒体の磁気特性を定義する図。

【図8】本発明の磁気記録媒体における各磁性層の保磁力の温度変化を示す図。

【図9】本発明の別の効果を示す主要図。

【図10】磁気ディスク装置の概念図。

【図11】磁気ヘッドの概念図。

#### 【符号の説明】

11・・・記録磁性膜、12・・・下層磁性膜、13・・・非磁性中間層、14・・・非磁性下地層、15・・・非磁性基板、16・・・保護膜、17・・・潤滑層、41・・・最大反強磁性結合エネルギー $J_1$ 、42・・・ピーク膜厚 $t_{\text{peak}}$ 、43・・・反強磁性結合反値幅 $d$ 、51・・・下層磁性層の磁化反転に伴う磁化変化量、52・・・記録磁性層の磁化反転に伴う磁化変化量、71・・・記録磁性層の保磁力、72・・・下層磁性層のマイナーループの幅、73・・・反強磁性結合磁界、81・・・記録磁性層の保磁力の温度変化、83・・・下層磁性層の保磁力の温度変化、101・・・記録媒体、102・・・磁気ヘッド、103・・・ロータリアクチュエータ、104・・・回転軸受け、105・・・アーム、106・・・サスペンション、108・・・筐体、111・・・書き込み部、112・・・再生部、113・・・磁気抵抗素子、1110・・・非磁性基板、115・・・シールド層、116・・・渦巻き型コイル、117・・・磁極、118・・・磁極(シールド層兼用)、119・・・電極。

フロントページの続き

(72)発明者 財津 英樹

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 富山 大士

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

Fターム(参考) 5D006 BB01 BB06 BB07 BB08 CA01  
5E049 AA04 AA09 BA06 DB12